

АНОТАЦІЯ

Йосипенко Ю.Р. Фізико-хімічні властивості композитів наночастинок типу $A^I B^{III} C^{VI}$ з йонними та молекулярними матрицями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 102 – Хімія (галузь знань 10 – Природничі науки). – Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича МОН України, Чернівці, 2025.

Дисертаційна робота присвячена синтезу твердотільних оптично активних композитів шляхом трансферу нанокристалів напівпровідників у твердотільні матриці. У роботі досліджено закономірності змін фізико-хімічних властивостей наночастинок при впровадженні їх у матриці йонних солей та молекулярні матриці, здійснено комплексну оцінку перспектив їх використання як люмінофорів, термочутливих матеріалів у оптоелектронних приладах. У вступі висвітлено актуальність теми дисертаційного дослідження, окреслено її зв'язок із науковими програмами та планами. Сформульовано мету та завдання дослідження, а також розкрито його наукову та практичну значущість. Представлено відомості про публікації, апробацію отриманих результатів та особистий внесок здобувача, а також, описано структуру й обсяг дисертації.

У **першому** розділі проведено огляд наукових робіт, що стосуються експериментальних і теоретичних досліджень теми дисертації. Перший розділ дисертації присвячено аналізу методів синтезу та властивостей наночастинок, їхніх переваг, недоліків та вплив умов синтезу на їх розмір, морфологію й стабільність. Особлива увага приділена оптичним властивостям квантових точок, їхній залежності від стехіометрії, структури й температури. У роботі підкреслено, що унікальні властивості наночастинок (НЧ), такі як квантово-розмірний ефект, залежність оптичних властивостей від розмірів і складу, є основою для їх використання в багатьох галузях,

включаючи електроніку та оптоелектроніку і, навіть, медицину. У розділі аналізуються різні групи НЧ, включаючи бінарні халькогеніди (CdS , ZnS , PbSe) та потрійні напівпровідники типу I–III–VI (AgInS_2 , CuInS_2). Обговорюється їхня структура, енергетичні рівні та фотостабільність, а також можливість регулювання ширини забороненої зони шляхом контролю розміру частинок. Окремо розглянута агрегація НЧ та стабільність їхніх властивостей у різних середовищах. Наведено методи їх стабілізації, зокрема використання лігандів, поверхнево-активних речовин та матриць. Встановлено вплив температури на стабільність люмінесценції та механізми термічного гасіння. Розглянуто способи впровадження квантових точок (КТ) у йонні та молекулярні матриці, які забезпечують захист наночастинок та покращення їх фотостабільності. Досліджено механізми термічного гасіння люмінесценції та особливості рекомбінації носіїв заряду.

Значну увагу приділено екологічним аспектам, включаючи заміну токсичних компонентів (Cd , Pb) на більш безпечні альтернативи, такі як AgInS_2 та CuInS_2 . Показано, що такі матеріали володіють високою стабільністю та великим коефіцієнтом поглинання, відкриваючи тим самим нові перспективи для їх масового застосування.

У **другому** розділі дослідження розглянуто методики гідротермального методу синтезу квантових точок AgInS_2 (AIS), AgInS_2 легованих Zn^{2+} (AZIS) та їх стабілізації. У роботі детально описано інкапсуляцію квантових точок у кристали йонних солей CaCO_3 та BaSO_4 , методом співосадження. Багатошарові плівки наночастинок AgInS_2 виготовляли методом пошарового осадження, який також описаний у даному розділі. Описано інструментальні методи аналізу, які використовувалися для характеристики зразків, а саме: спектроскопія поглинання та фотолюмінесценції, польово-емісійна скануюча електронна мікроскопія (FESEM), енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія (EDX), спектроскопія комбінаційного розсіювання, рентгенівська дифракція (XRD), люмінесцентна спектрометрія (SDL). Ці

методи дозволили дослідити кристалічну структуру, розмір та спектральні властивості наночастинок композитів.

У **третьому** розділі досліджено фотолюмінесцентні та абсорбційні властивості квантових точок AgInS_2 (AIS) та AgInS_2 легованих Zn^{2+} (AZIS). Вивчено вплив співвідношення $[\text{Ag}^+]:[\text{In}^{3+}]$ на спектральні характеристики, зокрема на ширину забороненої зони та гіпсохромні чи батохромні зсуви. Зменшення інтенсивності фотолюмінесценції призводить до зниження енергії активації процесу безвипромінювальної релаксації. Для четвертинних квантових точок AZIS випромінювання фотолюмінесценції, зумовлене рекомбінаційними процесами, які включають перехід із квантованої зони провідності до локалізованих внутрішньозонних станів. Розглянуто вплив матриць BaSO_4 і CaCO_3 на оптичні властивості квантових точок AIS та AZIS. Встановлено, що при інкапсуляції квантових точок у матриці характерний зсув у синю область довжин хвиль, що свідчить про зміну енергетичних параметрів системи. Сприяти гіпсохромному зсуву буде відповідне зменшення глибини потенційних ям для електрона та дірки за рахунок енергетичного зсуву після перенесення квантових точок з води на матриці CaCO_3 та BaSO_4 . Роль матриць полягає також у покращенні фотостабільності квантових точок та їх захисті. Композити демонструють гомогенний розподіл квантових точок і стабільні оптичні властивості, підтверджуючи їхню придатність для практичного застосування. Морфологію та склад композитів досліджено за допомогою польово-емісійної скануючої електронної мікроскопії (FESEM), енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX), які підтверджують рівномірний розподіл квантових точок у кристалах йонних солей BaSO_4 і CaCO_3 та відсутність агрегації. Встановлено, що легування Zn^{2+} призводить до часткової заміни Індію на Цинк, що впливає на розмір та хімічний склад частинок. Результати спектроскопії комбінаційного розсіювання композитів AIS і AZIS, інкапсульованих у матриці BaSO_4 і CaCO_3 , показали, що легування Zn^{2+} призводить до появи нових коливальних мод та змін у спектрах, що свідчить про утворення стабільних структур

третинних та четвертинних квантових точок у композитах. Встановлено, що впровадження квантових точок в матриці зберігає характерні коливальні моди AIS, що підтверджує успішну інкапсуляцію у кристали йонних солей. Спектри також демонструють стабільність квантових точок і їх придатність для практичних застосувань. Аналіз рентгенівських дифракційних даних показує, що інтенсивні піки здебільшого належать матрицям BaSO_4 та CaCO_3 , а сигнали від квантових точок AIS та AZIS залишаються слабкими. Проте спостерігаються зміщення піків, що вказує на вплив включення квантових точок у матриці. Включення Zn^{2+} сприяє зміні кристалічної структури AIS із тенденцією до переходу від ромбічної до гексагональної. Для композитів характерне епітаксійне осадження, що забезпечує рівномірний розподіл квантових точок у матрицях. Використання формули Дебая-Шеррера підтвердило зменшення розмірів кристалітів, що сприяє підвищенню їхньої стабільності. Відсутність домішок і рівномірний розподіл квантових точок підтверджують ефективність синтезу та впровадження наночастинок у матриці.

У **четвертому** розділі досліджено вплив інкапсуляції квантових точок AgInS_2 (AIS) у йонні матриці BaSO_4 та CaCO_3 на їхні фотолюмінесцентні (ФЛ) та структурні властивості. Аналіз проводився для AgInS_2 (AIS) та AgInS_2 легуваних Zn^{2+} (AZIS) композитів, які показують відмінності у гіпсохромному зсуві спектрів в залежності від типу та вмісту матриць. З'ясовано, що природа матриці BaSO_4 чи CaCO_3 мінімально впливає на спектральні характеристики квантових точок (КТ), однак забезпечує стабільність люмінесценції при нагріванні та хімічному впливі. Описано стійкість композитів до нагрівання та розраховано температурну чутливість наночастинок композитів. AIS інкапсульовані у матриці BaSO_4 демонструють стабільність фотолюмінесценції при повторних циклах нагрівання, тоді як для композитів на основі CaCO_3 спостерігалось обвуглення через розкладання поверхневого Ag_2CO_3 . Дослідження взаємодії з кислотами показало, що AIS інкапсульовані в BaSO_4 мають вищу стійкість до деградації,

ніж AIS, що інкапсульовані в CaCO_3 . Крім того, встановлено, що фотолюмінесценція (ФЛ) AIS на основі BaSO_4 переважно походить із ядра КТ. Композити AZIS на основі BaSO_4 , мають нижчу температурну чутливість, ніж аналогічні композити AIS. Матриця BaSO_4 забезпечує стійкість випромінювання ФЛ до повторних циклів нагрівання та стійкість до дії кислот, у порівнянні з CaCO_3 для AZIS. Таке явище, ймовірно, відбувається під час легування КТ Zn^{2+} , що призводить до ослаблення Zn-зв'язків або появи Zn-вакансій, які діють як глибокі пастки для носіїв заряду. Крім того, через наявність Цинку не можна виключити часткову появу на поверхні ZnCO_3 або їх гідроксипохідних, які виконують роль додаткової захисної оболонки. Отримані матеріали є ефективною альтернативою традиційним матеріалам на основі КТ II-IV та можуть бути використані в технологіях перетворення світла.

У **п'ятому** розділі аналізуються особливості формування багатошарових плівок на основі квантових точок (КТ) AgInS_2 , іммобілізованих у полідіалілдиметиламоній хлорид (ПДДА) та полівініловий спирт (ПВС). Використання техніки пошарового осадження дозволяє створювати стабільні та впорядковані плівки з контрольованою товщиною і високими оптичними властивостями. Вивчено вплив параметрів нанесення плівок на спектральні характеристики та довговічність матеріалів. Вивчено механізми гасіння люмінесценції у плівках та їхній вплив на ефективність передачі енергії в багатошарових структурах. Встановлено, що часи релаксації швидких та повільних процесів скорочуються в плівках КТ-ПДДА порівняно з колоїдними розчинами квантових точок, що вказує на ефективне перенесення носіїв між частинками. Описано перспективи використання багатошарових плівок AgInS_2 іммобілізованих у полівініловий спирт.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що в результаті виконання дисертації ми отримали твердотільні композити напівпровідників, які є сучасними конкурентоздатними функціональними

матеріалами для виготовлення світлодіодів, світлоперетворювачів, електронних транзисторів, дисплеїв, що володіють високими люмінесцентними властивостями. Матеріали демонструють стабільну фотолюмінесценцію у широкому температурному діапазоні, що дозволяє їх застосовувати в пристроях для перетворення енергії, таких як сонячні елементи та сенсори. Також отримано стабільні матеріали для агресивних середовищ, адже композити на основі BaSO_4 , демонструють високу стійкість до кислотних середовищ та підвищеної температури, що забезпечує їх використання в умовах екстремальних середовищ. Ну і, звичайно, не менш важливим є і те, що отримані матеріали та розроблені методики можуть бути використані для створення нових поколінь екологічно безпечних композитів, що здатні замінити токсичні матеріали на основі кадмію та свинцю, відкриваючи можливості для широкого застосування в медицині.

Ключові слова: оптичні властивості, енергія активації, наночастинка (нанокристал), люмінесценція (фотолюмінесценція), поглинання, композити (нанокомпозити), квантові точки, плівки, зона провідності, кристалічна структура, рентгенівська дифракція (XRD), легування, дірка, напівпровідники, гідротермальний метод (синтез).

ABSTRACT

Yosypenko Y.R. Physical and chemical properties of composites of $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}$ type nanoparticles with ionic and molecular matrices. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 102 – Chemistry (field of study 10 – Natural Sciences). – Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Chernivtsi, 2025.

The dissertation is devoted to the synthesis of solid-state optically active composites by transferring semiconductor nanocrystals into solid-state matrices.

The work investigates the regularities of changes in the physicochemical properties of nanoparticles when they are introduced into the matrix of ionic salts and molecular matrices and carries out a comprehensive assessment of the prospects for their use as phosphors and thermosensitive materials in optoelectronic devices. The introduction highlights the relevance of the dissertation topic, outlines its connection with scientific programs and plans, defines the research objectives and tasks, and explains the scientific and practical significance of the obtained results. Data on publications, testing of results, and the applicant's personal contribution are provided, and the structure and scope of the dissertation are described.

The **first chapter** reviews scientific works related to experimental and theoretical research on the topic of the dissertation. The first chapter of the dissertation focuses on analyzing the synthesis methods and properties of nanoparticles, discussing their advantages and disadvantages, as well as examining the influence of synthesis conditions on the size, morphology, and stability of the resulting compounds. Special attention is paid to the optical properties of quantum dots, and their relationship to stoichiometry, structure, and temperature. The work emphasizes that the unique properties of nanoparticles (NPs), such as the quantum-size effect, and the dependence of optical properties on size and correspondence, are the basis for their use in many industries, including electronics and optoelectronics, and even medicine. The chapter analyzes various groups of NPs, including binary chalcogenides (CdS, ZnS, PbSe) and ternary semiconductors of type I–III–VI (AgInS₂, CuInS₂). Their structure, energy levels, and photostability are discussed, as well as the possibility of regulating the bandgap width by controlling the particle size. The aggregation of NPs and the stability of their properties in different environments are separately considered. Methods for their stabilization are presented, in particular, the use of ligands, surfactants, and matrices. The effect of temperature on luminescence stability and the mechanisms of thermal quenching have been established. Methods for introducing QDs quantum dots into ionic and molecular matrices are considered, which provide protection for nanoparticles and improve their photostability. Mechanisms of

thermal quenching of luminescence and features of charge carrier recombination are investigated.

Considerable attention has been paid to environmental aspects, including the replacement of toxic components (Cd, Pb) with safer alternatives such as AgInS₂ and CuInS₂. Such materials have been shown to have high stability and high absorption coefficient, thereby opening up new prospects for their mass application.

The **second chapter** of the research considers the hydrothermal method of synthesis of AgInS₂ (AIS), AgInS₂ doped with Zn²⁺ (AZIS) quantum dots, and their stabilization. The work describes in detail the encapsulation of quantum dots in crystals of ionic salts CaCO₃ and BaSO₄ by the co-deposition method. The layer-by-layer deposition method, which is also described in this section, produced multilayer films of AgInS₂ nanoparticles. The instrumental analysis methods used to characterize the samples are described, namely: absorption and photoluminescence spectroscopy, field emission scanning electron microscopy (FESEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), Raman spectroscopy, X-ray diffraction analysis (XRD), and luminescence spectrometry (SDL). These methods allowed us to investigate the crystal structure, size, and spectral properties of the composite of nanoparticles.

In the **third chapter**, the photoluminescent and absorption properties of AgInS₂ (AIS) and Zn²⁺ doped AgInS₂ (AZIS) quantum dots were investigated. The effect of the Ag: In ratio on the spectral characteristics, in particular on the band gap and hypsochromic or bathochromic shifts, was studied. The decrease in photoluminescence intensity leads to a reduction of the activation energy of the non-radiative relaxation process. For quaternary quantum dots, AZIS photoluminescence emission is caused by recombination processes that include the transition from the quantum conduction band to localized intraband states. The effect of BaSO₄ and CaCO₃ matrices on the optical properties of AIS and AZIS quantum dots was considered. It was established that when quantum dots are encapsulated in a matrix, a shift to the blue wavelength region is characteristic,

which indicates a change in the energy parameters of the system. The hypsochromic shift will be promoted by a corresponding decrease in the depth of the visible wells for the electron and hole due to the energy shift after transferring the quantum current from water to the matrices and CaCO_3 and BaSO_4 . The role of matrices is also to improve the photostability and protection of quantum dots. The composites demonstrate a homogeneous distribution of quantum dots and stable optical properties, confirming their suitability for practical application. The morphology and composition of the composites were investigated using field emission scanning electron microscopy (FESEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), which confirms the uniform distribution of quantum dots in the crystals of ionic salts BaSO_4 and CaCO_3 and the absence of aggregation. It was found that doping with Zn^{2+} leads to a partial replacement of Indium by Zinc, which affects the size and chemical composition of the particles. The results of Raman scattering of AIS and AZIS quantum dots encapsulated in a BaSO_4 and CaCO_3 matrix showed that doping with Zn^{2+} leads to the appearance of new vibrational modes and changes in the spectra, which indicates the formation of stable tertiary and quaternary quantum structures. It was found that the introduction of quantum dots into the matrix preserves the characteristic vibrational modes of AIS, which confirms the successful encapsulation of quantum dots into ionic crystals of salts. The spectra also demonstrate the stability of quantum dots and their suitability for practical applications. Analysis of X-ray diffraction data shows that the intense peaks mostly belong to the BaSO_4 and CaCO_3 matrices, while the signals from AIS and AZIS quantum dots remain weak. However, peak shifts are observed, indicating the influence of the inclusion of quantum dots in the matrix. The inclusion of Zn^{2+} contributes to a change in the crystal structure of AIS with a tendency to transition from rhombic to hexagonal. Composites are characterized by epitaxial deposition, which ensures a uniform distribution of quantum dots in the matrices. The use of the Debye Scherrer equation confirmed the reduction in the size of the crystallites, which contributes to their increased stability. The absence of impurities and the uniform distribution of

quantum dots confirm the efficiency of the synthesis and implementation of nanoparticles into the matrices.

In the **fourth chapter**, the effect of encapsulation of AgInS₂ quantum dots (AIS) in the ionic matrices on their photoluminescent (PL) and structural properties was investigated. The analysis was performed for AgInS₂ (AIS) and AgInS₂ doped with Zn²⁺ (AZIS) composites, which show differences in the hypsochromic shift of the spectra depending on the type and content of the matrices. It was found that the nature of the BaSO₄ or CaCO₃ matrix minimally affects the spectral characteristics of quantum dots (QDs) but ensures the stability of luminescence upon heating and chemical exposure. The durability of the composites to heating is described and the temperature sensitivity of the composite nanoparticles is calculated. AIS encapsulated in the BaSO₄ matrix demonstrates photoluminescence stability upon repeated heating cycles, while for the CaCO₃-based composites, charring was observed due to the decomposition of the surface Ag₂CO₃. Acid interaction studies have shown that AIS encapsulated in BaSO₄ has a higher resistance to degradation than AIS encapsulated in CaCO₃. In addition, it has been found that the PL of AIS based on BaSO₄ mainly originates from the core of the QD. AZIS composites based on BaSO₄ have lower temperature sensitivity than similar AIS composites. The BaSO₄ matrix provides stability of PL emission to repeated heating cycles and resistance to acids, compared to CaCO₃ for AZIS. This phenomenon probably occurs during the doping of QDs with Zn²⁺, which leads to the weakening of Zn bonds or the appearance of Zn vacancies, which act as deep traps for charge carriers. In addition, due to the presence of zinc, the partial appearance of ZnCO₃ or their hydroxy derivatives on the surface, which act as an additional protective shell, cannot be ruled out. The obtained materials are an effective alternative to traditional materials based on QDs II-IV and can be used in light conversion technologies.

The **fifth chapter** analyzes the features of the formation of multilayer films based on AgInS₂ quantum dots (QDs) immobilized in polydiallyldimethylammonium chloride (PDDA) and polyvinyl alcohol (PVA). The

use of the layer-by-layer deposition technique allows the creation of stable and ordered films with controlled thickness and high optical properties. The influence of film deposition parameters on the spectral characteristics and durability of materials was researched. The mechanisms of luminescence quenching in films and their influence on the efficiency of energy transfer in multilayer structures were researched. It was established that the relaxation times of fast and slow processes are reduced in QDs - PDDA films compared to colloidal solutions, which indicates the effective transfer of charge between particles. The prospects for the use of multilayer AgInS₂ films immobilized in polyvinyl alcohol are described.

The practical significance of the results

The practical significance of the results is that as a result of the dissertation, we obtained solid-state semiconductor composites, which are modern competitive functional materials for the manufacture of LEDs, light converters, electronic transistors, and displays and have high luminescent properties. The materials demonstrate stable photoluminescence in a wide temperature range, which allows them to be used in energy conversion devices, such as solar cells and sensors. We also obtained stable materials for aggressive environments, as BaSO₄-based composites demonstrate high resistance to acidic environments and elevated temperatures, which ensures their use in extreme environments. And, of course, it is no less important that the obtained materials and developed methods can be used to create new generations of environmentally friendly and safe composites that can replace toxic materials based on cadmium and lead, opening up opportunities for widespread use in medicine.

Keywords: optical properties, activation energy, nanoparticle (nanocrystals), luminescence (photoluminescence), absorption, composites (nanocomposites), quantum dots, films, conduction band, crystal structure, X-ray diffraction analysis (XRD), doping, hole, semiconductors, hydrothermal method (synthesis).

Список публікацій за темою дисертації:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові

результати дисертації

Наукові праці у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus:

1. Yosypenko, Y.; Mykhailovych, V.; Yosypenko, V.; Rotaru, A.; Khalavka, Y. Optical properties and thermal sensitivity of AgInS₂ and AgInS₂/ZnS quantum dots embedded in barium sulphate and calcium carbonate matrices. *Opt. Mater.* 2025, 158, 116441. ISSN: 0925-3467 (Scopus Q1 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=12318&tip=sid&clean=0>)
(особистий внесок - удосконалення водного методу синтезу наночастинок AgInS₂, та AgInS₂ легованих Zn²⁺ та порівняння їх оптичних властивостей, побудовано відповідні графіки; вперше було впроваджено ці наночастинок у кристали йонних солей CaCO₃ та BaSO₄, досліджено оптичні властивості таких композитів, вперше проведено розрахунки термочутливості отриманих композитів та досліджено їх морфологію; написання (оригінальна чернетка))
2. Kopach, V.; Khalavka, Y.; Yosypenko, Y.; Doskaliuk, N.; Kopach, O.; Dmytruk, M.; Dmytruk, A. Accelerated Charge Transfer in the AgInS₂-Polymer Layer-by-Layer Films. *Luminescence* 2024, 39 (10), e70001. ISSN: 1522-7243. ISSN: 0925-3467 (Scopus Q1 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=12318&tip=sid&clean=0>)
(особистий внесок - синтез наночастинок AgInS₂, та впровадження їх у полідіалілдиметиламоній хлорид (ПДДА) методом пошарового осадження; порівняння оптичних властивостей даних наночастинок та плівок; проведення розрахунків)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

3. Lukan, Yu.; Pavlovskiy, V.; Khalavka, Yu. Synthesis, physico-chemical properties of AgInS_2 nanoparticles and their implementation in crystals of ion salts. *I Міжнародна науково-практична конференція «Молодіжна наука заради миру та розвитку», присвячена Всесвітньому дню науки* (м. Чернівці, 9–11 листопада 2022 р.); Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича: Чернівці, Україна, 2022; С. 334–336. ISBN 978-966-423-755-7 (особистий внесок - впровадження наночастинок AgInS_2 , легованих Zn^{2+} в кристали іонних солей з водної фази та отримання перспективних фотолюмінесцентних матеріалів, одночасно дослідження їх оптичних властивостей, написання оригінальної чернетки)
4. Йосипенко, Ю. Перспективи використання наночастинок типу $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}$. *II Міжнародна науково-практична конференція «Молодіжна наука заради миру та розвитку», присвячена Всесвітньому дню науки* (м. Чернівці, 8–10 листопада 2023 р.); Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича: Чернівці, Україна, 2023; С. 280–281. ISBN 978-966-423-811-0 (особистий внесок - синтез наночастинок AgInS_2 різних розмірів під контролем співвідношення $[\text{Ag}]:[\text{In}]$ та впровадження наночастинок AgInS_2 в кристали іонних солей BaSO_4 , написання оригінальної чернетки)
5. Lukan, Yu. R. Synthesis and physicochemical properties of AgInS_2 nanoparticles. *104-та науково-практична конференція з міжнародною участю професорсько-викладацького персоналу Буковинського державного медичного університету* (м. Чернівці, 6, 8, 13 лютого 2023 р.); Заг. ред.: проф. Андрієць, О. А.; проф. Грицюк, М. І.; проф. Безрук, В. В.; Медуніверситет: Чернівці, Україна, 2023; С. 73–74. ISBN 978-617-519-019-7 (особистий внесок - експериментальні дослідження (вимірювання спектрів фотолюмінесценції для наночастинок водних розчинів та композитів, написання оригінальної чернетки)
6. Йосипенко, Ю. Р. Аналіз наночастинок AgInS_2 на основі форстерівського

- резонансного переносу енергії. 105-та підсумкова науково-практична конференція з міжнародною участю професорсько-викладацького персоналу Буковинського державного медичного університету, присвячена 80-річчю БДМУ (05, 07, 12 лютого 2024 року); БДМУ: Чернівці, Україна, 2024; С. 81–82. ISBN 978-617-519-077-7 (особистий внесок - дослідження характеристики наночастинок AgInS_2 на основі форстерівського резонансного переносу енергії (оглядові тези), написання оригінальної чернетки)
7. Andriichuk, Y.; Voitovych, S.; Tynkevych, O.; Yosypenko, Y.; Khalavka, Y. Quantum Dots – Prospective Light-Conversion Materials. *Хімічні проблеми сьогодення (ХПС-2024): збірник тез доповідей VII Міжнародної (XVII Української) наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених* (м. Вінниця, 19–21 березня 2024 р.); Донецький національний університет імені Василя Стуса; Редкол.: О. М. Шендрик; ДонНУ: Вінниця, Україна, 2024; С. 51. ISSN print 2708-0536 ISSN on-line 2708-0544 (особистий внесок - пошук джерел літератури, синтез квантових точок срібла)
8. Lukan, Yu.; Khalavka, Yu. FRET-Based Analysis of AgInS_2 Nanoparticles. In *The 6th International Scientific and Practical Conference “Science and Innovation of Modern World”*; Komarytsky, M. L., Ed.; Cognum Publishing House: London, United Kingdom, 2023; pp 188–190. ISBN 978-92-9472-194-5 (особистий внесок - дослідження механізмів люмінесценції потрійних КТ з використанням FRET та шляхів рекомбінації квантових точок, написання оригінальної чернетки)
9. Lukan, Y.; Khalavka, Y.; Yosypenko, V. Advantages and Disadvantages of Silver Nanoparticle Synthesis Methods. In *Theoretical Aspects of Education Development: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference* (January 24–27, 2023); International Science Group: Warsaw, Poland, 2023; pp 80–84. ISBN 979-8-88896-541-2 (особистий внесок - огляд переваг та недоліків методів синтезу наночастинок срібла; написання оригінальної чернетки)

10. Lukan, Yu.; Khalavka, Yu.; Yosypenko, V. Methods of Increasing the Photoluminescent Characteristics of AgInS₂ Nanoparticles. *In Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference “Progressive Research in the Modern World”* (Boston, USA, February 1–3, 2023); Komarytskyu, M. L., Ed.; BoScience Publisher: Boston, USA, 2023; pp 122–126. ISBN 978-1-73981-125-9 (особистий внесок - описання методів підвищення фотолюмінесцентних характеристик наночастинок AgInS₂; написання оригінальної чернетки)

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

11. Lukan, Y.; Hotynchan, A.; Andriichuk, Y.; Vojtovych, S.; Seti, Y.; Khalavka, Y. II–VI Semiconductor-Based Nanomaterials. *In Handbook of II-VI Semiconductor-Based Sensors and Radiation Detectors: Volume 1, Materials and Technology*; Springer International Publishing: Cham, 2023; pp 325–357. ISBN 978-3-031-19531-0 (особистий внесок - написання чорнового варіанту розділу)
12. Doskaliuk, N.; Lukan, Y.; Khalavka, Y. Quantum dots for temperature sensing. *Scientiae Radices* 2023, 2 (2), 93–111. ISSN: 2956-4808 (особистий внесок - написання чорнового варіанту рукопису)